RAPPORT D'ACTIVITÉS

(2005-2007)

Moreno ANDREATTA

Chercheur CR1
Ircam/CNRS UMR 9912 (STMS)
Sciences et Technologies de la Musique et du Son
1, place I. Stravinsky
75004 Paris

RECHERCHE SCIENTIFIQUE

L'activité de recherche menée à partir de ma titularisation (octobre 2005) a été envisagée selon une double perspective. D'un côté, comme le prolongement d'une activité de recherche en cours depuis la fin de la thèse et réorientée à partir d'octobre 2004 selon les grandes lignes contenues dans le projet **MISA** retenu par le CNRS (cf. *infra*) ; d'autre part, comme un moment précieux pour envisager des actions spécifiques nouvelles en ce qui concerne le processus d'« institutionnalisation » du rapport mathématiques/musique en tant que discipline (avec l'organisation de séminaires d'études, le lancement d'une nouvelle collection dédiée aux rapport entre sciences et musique et la participation à la création d'une revue de mathématiques à comité de lecture sur les liens mathématiques/musique). Bien qu'ayant consacré une partie non négligeable de mon temps et mes énergies à ces actions d'institutionnalisation de la discipline, j'aborderai en détail uniquement l'activité de recherche, mentionnant brièvement ce deuxième aspect dans la partie conclusive.

L'activité de recherche sur les méthodes algébriques en musicologie computationnelle

Cette recherche s'inscrit dans le projet plus général qui a été retenu par le CNRS et qui s'intitule « **M**odélisation **I**nformatique des **S**tructures **A**lgébriques en musique et musicologie : aspects cognitifs, philosophiques et épistémologiques » (en abrégé : **MISA**). Avec l'objectif, à long terme, d'arriver à aborder les ramifications cognitives de l'application des méthodes algébriques en musique, pendant ces deux dernières années j'ai concentré mon activité de recherche sur les deux domaines suivants que j'ai abordés à la fois d'un point de vue mathématique et informatique :

a) La théorie des ensembles des classes de hauteurs (*Set Theory*) et la théorie transformationnelle (*Transformational Theory*) ;
b) La construction des mosaïques et des pavages en théorie et composition musicales.

Ces sujets constituent également deux des axes majeurs du Séminaire MaMuX (Mathématiques/Musique et relations avec d'autres disciplines), que j'ai coordonne à l'Ircam depuis 2001.

a) Set Theory et théories transformationnelles revisitées à travers l'approche algébrique

Le travail de généralisation de la *Set Theory* et de la théorie transformationnelle à travers l'approche algébrique a été mené en collaboration étroite avec des mathématiciens, dont Guerino Mazzola (MultiMedia Lab de Zürich / Université de Minnesota), Emmanuel Amiot (Professeur CPGE à Perpignan), Franck Jedrzejewski (CEA-Saclay), Thomas Noll (professeur de théorie de la musique à l'ESMuC de Barcelone et éditeur du *Journal of Mathematics and Music*) ainsi que des informaticiens, en particulier de l'équipe Représentations Musicales de l'Ircam. L'équipe Représentations Musicales de l'Ircam, dirigée par Gérard Assayag, est spécialisée dans l'étude des représentations symboliques de structures musicales et à leurs applications en composition assistée par ordinateur (CAO) et en musicologie computationnelle (théories et analyse musicales à support informatique). Le travail de l'équipe se fondant sur une activité de recherche et de développement dans le domaine des langages et paradigmes informatiques adaptés à la musique, je me suis tout d'abord intéressé aux aspects computationnels de la *Set Theory* d'Allen Forte et de la *Transformational Theory* de David Lewin. Pour la première, j'ai donné une formalisation « paradigmatique » (au sens de la théorie des actions des groupes) qui a été également intégrée, en collaboration avec Carlos Agon, à l'environnement informatique *OpenMusic* (le langage de programmation visuelle développé par l'équipe Représentations musicales) tandis que pour la deuxième j'ai proposé, avec Guerino Mazzola, une présentation « catégorielle » (au sens de la théorie mathématique des catégories) qui donne un résultat nouveau en ce qui concerne l'énumération de certaines structures globales (les « réseaux de Klumpenhouwer ») en relation d'« isographie forte ». Il s'agit d'un résultat qui ouvre des perspectives computationnelles tout à fait nouvelles pour l'analyse musicale assistée par ordinateur.

D'un point de vue musicologique, les outils de représentations et de modélisation informatique permettent une approche véritablement expérimentale qui dynamise de manière significative la discipline. Ainsi des hypothèses peuvent être testées et validées en s'appuyant sur la puissance de calcul symbolique et combinatoire. D'un point de vue plus informatique, les modèles computationnels, dotés d'une certaine généricité, visent l'élaboration de langages (langages visuels, langages multi-paradigmes incluant les aspects fonctionnels, objet et logiques) et d'architectures (architectures à composants, environnement mixtes de programmation et d'édition visuelle de données). Les modèles musicaux visent à définir des représentations et des algorithmes susceptibles de capturer des aspects importants du phénomène musical. Dans le cas de la *Set Theory* et des théories transformationnelles, ces aspects concernent surtout l'organisation des hauteurs dans l'espace tempéré, leur représentation et leur classification. Afin d'énumérer et classer ces structures musicales, nous avons choisi une approche « paradigmatique ».

A la différence des présentations traditionnelles de la *Set Theory*, comme celle d'Allen Forte, de John Rahn ou de Robert Morris, la théorie des ensembles de classes de hauteurs se prête très bien à être intégrée dans une approche algébrique qui utilise pleinement la puissance combinatoire de la structure de *groupe cyclique* sous-jacente à toute division de l'octave musicale en un nombre *n* de parties égales. L'implémentation réalisée en *OpenMusic*, se déploie dans une architecture « paradigmatique » basée sur l'*action* de certains groupes « mathémusicaux » sur l'espace tempéré (le groupe cyclique en tant qu'ensemble dépourvu de structure algébrique). L'implémentation permet à l'analyste de choisir son propre critère d'équivalence entre structures d'accords en utilisant comme « paradigmes » d'analyse les différents groupes que l'on peut choisir de faire opérer sur l'espace musical. En particulier, nous avons implémenté les relations d'équivalence (donc les catalogues d'accords) induites par l'action de quatre groupes sur un tempérament musical choisi : le groupe *cyclique* (ou paradigme de l'équivalence à une transposition musicale près), le groupe *dihédral* (paradigme de la Set Theory, i.e. équivalence à une transposition et/ou une inversion musicale près), le groupe *affine* (équivalence à une multiplication ou application affine près) et groupe *symétrique* (équivalence à une permutation près). L'architecture paradigmatique de cet environnement est décrite dans la figure suivante (Fig. 1) qui montre les représentations circulaires et les structures intervalliques associées aux différentes classes d'équivalence d'un même accord.

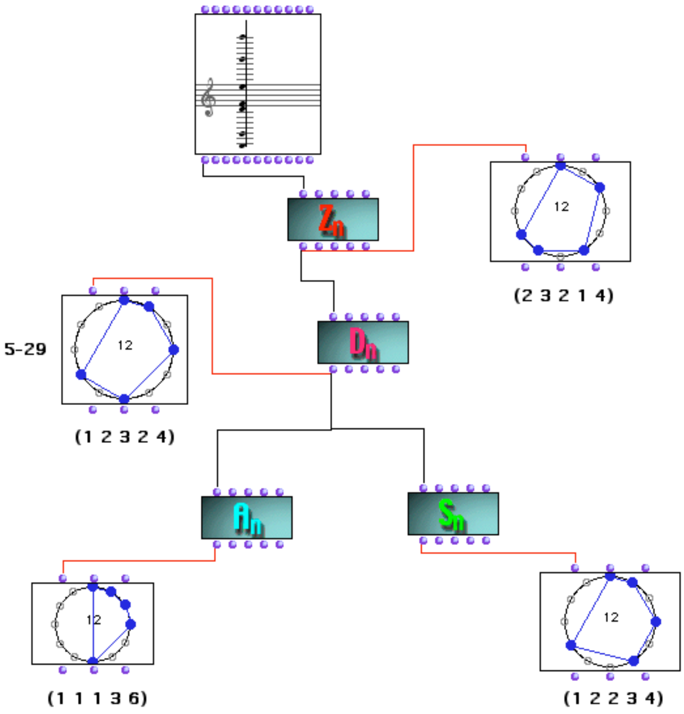

Fig. 1 : Architecture « paradigmatique » pour la théorie, l'analyse et la composition assistées par ordinateur basée sur le concept d'action d'un groupe (cyclique, dihédral, affine et symétrique) sur un tempérament égal donné.

Le terme « paradigmatique » a été choisi pour souligner la portée philosophique de l'approche algébrique en analyse musicale. Les groupes algébriques jouent le rôle des « paradigmes » dans un sens très proche à celui utilisé par Thomas Kuhn dans son analyse de la structure des révolutions scientifiques. L'idée sous-jacente est celle de l'intérêt, pour un analyste ou un musicologue, de choisir le « paradigme » le mieux approprié pour décrire de façon pertinente un phénomène musical observé. Par exemple, dans l'analyse de la musique tonale, le « paradigme » du groupe cyclique (équivalence à une transposition près) sera sans doute plus pertinent du paradigme du groupe dihédral (utilisé avec succès dans l'analyse de la musique atonale) ou du groupe affine (qui semble le mieux approprié pour aborder des techniques musicales typiques du répertoire jazz, comme, par exemple, la substitution d'accords). Le terme « paradigmatique » avait également été adopté en musicologie par Nicolas Ruwet dans son approche structuraliste de l'analyse musicale fortement influencé par la linguistique. Notre approche « paradigmatique », basé sur la théorie des groupes de transformations, suggère une nouvelle interprétation de la démarche structurale en analyse musicale, indépendamment de toute considération sur le rapport entre musique et langage.

J'ai commencé à aborder les enjeux d'une démarche structurale en musique et musicologie du XX[e] siècle lors d'une journée scientifique du Centre Georges Canguilhem (2 décembre 2004) intitulée « Les structures après le structuralisme » (organisé par Frédéric Patras, Laboratoire J.A. Dieudonné, Université Sophia Antipolis, Nice). J'ai ensuite discuté les ramifications philosophiques et épistémologiques de la tradition se-théorique et transformationnelle en analyse musicale lors d'une longue intervention dans le cadre du séminaire « Mathématiques/Musique & Philosophie » de l'ENS (18 novembre 2006). La conférence, intitulé « Mathématiques, musique et philosophie dans la tradition américaine : la filiation Babbitt/Lewin », a été enregistrée par la Diffusion de savoir de l'ENS et est disponible à l'adresse : www.diffusion.ens.fr/index.php?res=conf&idconf=1560.
L'objectif futur est d'arriver à une formulation précise du cadre philosophique et épistémologique sous-jacent à une approche algébrique en théorie, analyse et composition musicales, avec une étude des retombées cognitives des modèles algébriques et catégorielles en musique.

La démarche algébrique permet d'introduire également les concepts de base de l'analyse transformationnelle, telle que David Lewin l'a conçue à partir notamment d'une mathématisation des outils de base de la *Set Theory.* À la différence de l'approche « set-théorique » classique, l'analyse transformationnelle consiste à segmenter une partition de musique à travers un recouvrement de sous-ensembles qui sont liés par des opérations musicales de transposition et d'inversion. Elle permet ainsi de créer un espace abstrait de relations de transposition et d'inversion entre les accords qui peut décrire le déroulement temporel de la pièce (*progression transformationnelle*) ou bien une organisation spatiale des transformations algébrico/musicales (*réseau transformationnel*). La figure suivante (Fig. 2) montre un exemple d'une démarche transformationnelle dans le cas de l'analyse du Klavierstück III de K. Stockhausen par David Lewin, une analyse qui est ici reprise en utilisant la représentation circulaire pour mettre en évidence les transformations musicales qui permettent de décrire la partition à partir d'une même structure de pentacorde. Ces transformations ne changent pas la nature « ensembliste » du pentacorde, car les cinq formes sont « équivalentes » à une transposition ou une inversion près (ou une combinaison des deux opérations).

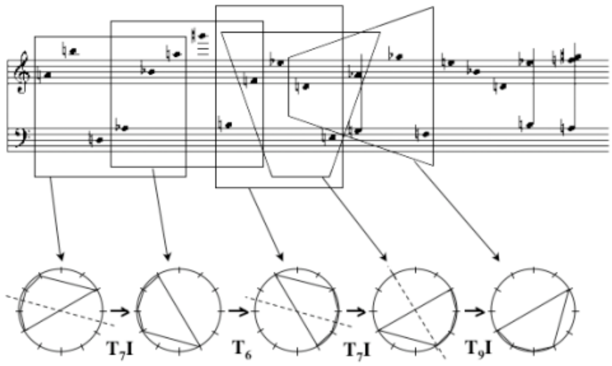

Fig. 2. Segmentation par imbrication (partition) et progression transformationnelle associée, avec les « cartes » représentées à l'aide de la représentation circulaire.

J'ai également entrepris un travail de généralisation de la *Set Theory* et de l'analyse transformationnelle via la théorie des catégories, une approche qui n'avait pas pu être approfondie pendant la thèse de doctorat et dont l'intérêt à la fois mathématique et musical est au cœur du projet **MISA**. Ce travail, mené en collaboration avec le mathématicien Guerino Mazzola, est décrit dans un article publié dans la revue *Perspectives of New Music* intitulé « Klumpenhouwer Networks As Limit Denotators ». L'article montre que les réseaux de Klumpenhouwer, outil très sophistiqué de la théorie transformationnelle américaine, sont en réalité des exemples élémentaires de « limite », au sens de la théorie des catégories. La figure suivante (Fig. 3) montre deux exemples de réseau de Klumpenhouwer (*K-net* ou *K*-réseau).

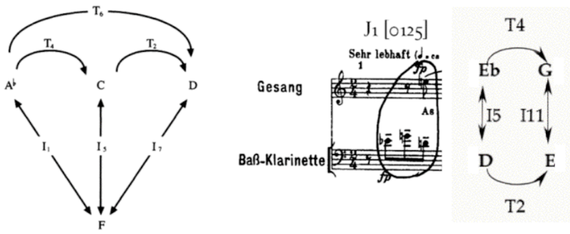

Figure 3. Deux exemples de réseaux de Klumpenhouwer, configurations spatiales diagrammatiques déployant des transformations de transpositions et d'inversions.

En étudiant la structure des K-réseaux comme une catégorie (cette des *graphes dirigés*), on peut étudier d'un point de vue catégoriel les isomorphismes entre deux *K-reseaux* ainsi que les principes récursifs permettant de construire un réseau de réseaux de réseaux et ainsi de suite.

La formalisation catégorielle des K-réseaux a deux grands avantages. D'un côté elle permet de donner un résultat d'énumération des K-réseaux en relation d'isographie forte (*strong isography*), c'est-à-dire ayant la même configuration de flèches. D'autre part elle intègre, de par sa nature même, le principe de récursivité. La famille des réseaux en relation d'isographie forte avec un K-réseau donné est isomorphe à un sous-groupe du groupe $(\mathbf{Z}/n\mathbf{Z})^m$ ou m est le nombre des sommets du graphe. La figure suivante (Fig. 4) donne, par exemple, les quatre *K*-réseaux en relation d'isographie forte.

$$
\begin{tikzcd}
C \arrow[r, "T_3"'] \arrow[d, leftrightarrow, "I_2"'] & E\flat \arrow[d, "T_7 M_7"'] \\
D \arrow[r, "T_2"'] & E
\end{tikzcd}
\quad
\begin{tikzcd}
E\flat \arrow[r, "T_3"'] \arrow[d, leftrightarrow, "I_2"'] & F\sharp \arrow[d, "T_7 M_7"'] \\
B \arrow[r, "T_2"'] & D
\end{tikzcd}
\quad
\begin{tikzcd}
F\sharp \arrow[r, "T_3"'] \arrow[d, leftrightarrow, "I_2"'] & A \arrow[d, "T_7 M_7"'] \\
G\sharp \arrow[r, "T_2"'] & B\flat
\end{tikzcd}
\quad
\begin{tikzcd}
A \arrow[r, "T_3"'] \arrow[d, leftrightarrow, "I_2"'] & C \arrow[d, "T_7 M_7"'] \\
F \arrow[r, "T_2"'] & G
\end{tikzcd}
$$

Figure 4. Quatre réseaux en relation d'isographie forte. (*T*, *I* et *M* indiquant les opérations de transposition, inversion, et application affine).

D'autre part, il est tout a fait naturel d'abstraire chacun des réseaux précédents et les transformer dans des sommets d'un potentiel réseau de réseaux, ayant comme flèches des transformations isographiques (dans ce cas l'identité) entre des réseaux sous-jacents. La construction s'applique dans des cas beaucoup plus généraux de façon tout à fait naturelle, car l'un des avantages de la théorie des catégories est précisément de pouvoir construire des transformations entre catégories (*foncteurs*) ainsi que des transformations entre foncteurs (*transformations naturelles)*. Cette démarche ouvre la voie à une théorie nouvelle des « gestes », que nous avons esquissée (de façon conjecturale) dans le premier numéro du *Journal of Mathematics and Music* et dont la formalisation précise et l'étude des ramifications philosophiques et retombées cognitives constitue l'un des objectifs des deux prochaines années.

b) La construction des mosaïques et des pavages en théorie et composition musicales

Le deuxième sujet sur lequel j'ai concentré mes recherches dans les deux dernières années concerne le problème de la construction de canons rythmiques ayant une propriété globale de réaliser un *pavage* de l'espace rythmique. Ce problème, que j'ai amplement discuté dans ma thèse, offre un bon exemple de la « relation oblique » entre une approche compositionnelle et une formalisation algébrique. La théorie mathématique a été proposée dans les années 1990 par le mathématicien roumain Dan Tudor Vuza. Vuza propose un modèle de canon rythmique réalisant un pavage de l'axe du temps obtenu par factorisation d'un groupe cyclique en somme directe de deux sous-ensembles non-périodiques. Nous appelons une telle structure musicale un « canon mosaïque » de Vuza ou *Vuza tiling canon*). Dans la littérature, un groupe (cyclique) qui admet des factorisations en deux sous-ensembles non périodiques est dit « groupe non-Hajos » (ou *bad group*). La théorie mathématique de Vuza offre la possibilité de trouver explicitement des factorisations pour un groupe n'ayant pas la propriété de Hajos, mais elle ne s'intéresse pas à l'espace combinatoire des solutions. Nous avons donné une classification exhaustive des solutions dans le cas de la factorisation du groupe cyclique **Z/72Z** en deux sous-ensembles non périodiques, cet ordre étant le plus petit pour un groupe n'ayant pas la propriété de Hajos. Cette classification a été établie en suivant l'approche paradigmatique que nous avons décrite précédemment pour l'énumération des classes d'équivalences d'accords musicaux. Elle tient compte de l'action de trois groupes différents sur le groupe cyclique d'ordre 72, considéré en tant qu'ensemble : le groupe cyclique, le groupe dihédral et le groupe affine. Dans le premier cas, la famille des sous-ensembles R et S comprend respectivement 6 et 3 solutions, pour un total de 18 canons rythmiques mosaïques différents. Le nombre de canons se réduit à 9 si l'on considère l'action du groupe dihédral sur **Z/72Z**, les familles des sous-ensembles R et S ayant trois éléments chacune. Dans le cas du groupe affine opérant sur **Z/72Z**, l'espace des solutions pour R et S se réduit à un seul sous-ensemble. On obtient ainsi le résultat surprenant qui affirme l'existence d'un seul canon rythmique mosaïque (à une application affine près). La classification paradigmatique, ainsi que le canon rythmique correspondant à la solution unique (à une application affine près) est donnée en figure 5.

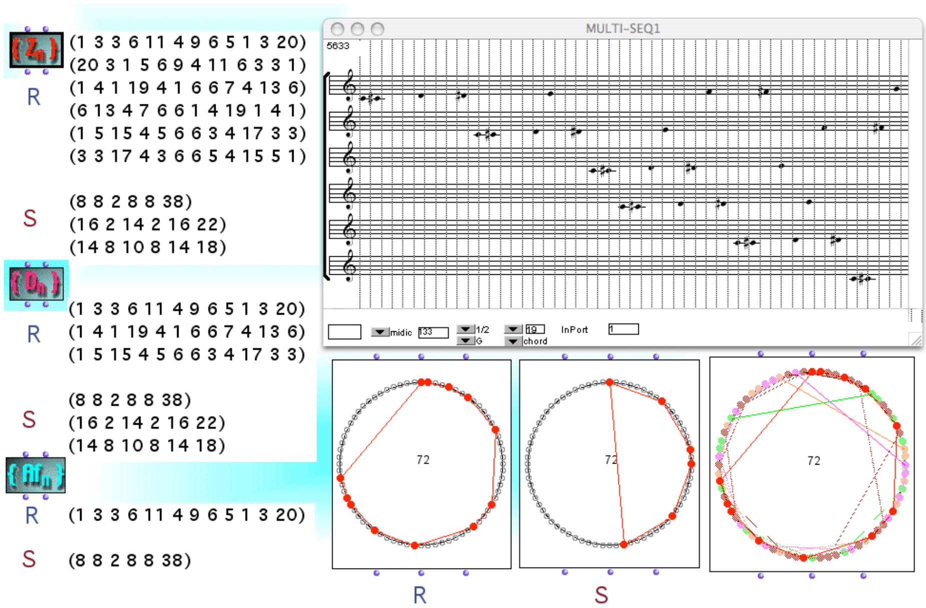

Fig. 5 : Classification « paradigmatique » des canons mosaïques de Vuza d'ordre 72 (par rapport à l'action du groupe cyclique, dihédral et affine). L'action du groupe symétrique ne peut pas être utilisé car elle détruit la structure de canon.

L'implémentation de ce modèle, ainsi que des modèles plus généraux obtenus par augmentations des voix du canon (*Augmented Canons)* ou par produit de polynômes cyclotomiques *(Cyclotomic Canons),* a été réalisée en collaboration avec Carlos Agon, chercheur au sein de l'équipe Représentations musicales et intégré dans *OpenMusic* (à partir de la version 5.0. *Cf.* Section 9, Logiciels).

D'un point de vue musical, ce travail a fourni le modèle formel pour plusieurs compositions. Le travail mené avec le compositeur Georges Bloch (actuellement en délégation CNRS dans l'équipe représentations musicales) est emblématique en ce qui concerne les directions parfois très inattendues qu'une recherche théorique peut prendre lorsqu'elle est soumise à la singularité de la pensée compositionnelle. Les enjeux de cette collaboration interdisciplinaire ont été présentés et discutés en détail lors d'un Wiorkshop qui s'est déroulé à Dublin sous invitation de l'association *Seed* « Art & Science » et organisé sous l'égide de la Irish Royal Academy. Le problème des pavages et mosaïques en musique est sans doute l'un des axes de recherches parmi les plus actifs en théorie mathématique de la musique. J'ai dirigé et je dirige actuellement plusieurs mémoires d'étudiants sur ce sujet. De plus, l'étude des canons mosaïques de Vuza a montré le lien étroit entre des constructions musicales et des conjectures mathématiques toujours ouvertes, telle la Conjecture de Fuglede (ou conjecture spectrale). Une bibliographie des travaux publiés par notre groupe de travail, ainsi que des travaux de mathématiciens travaillant sur la même conjecture mais ignorant totalement les liens avec la musique est disponible sur la page web du Séminaire MaMuX consacré aux problèmes de mosaïques et pavages en musique. Voir :
http://recherche.ircam.fr/equipes/repmus/mamux/IrcamTilingResearch.html

L'un des objectifs des prochaines années sera de fédérer les chercheurs travaillant sur ce sujet afin d'essayer d'apporter quelques résultats nouveaux en direction de la solution de la conjecture spectrale.

Valorisation et transmission des connaissances

Le domaine des rapports entre mathématiques et musique n'étant pas encore « institutionnalisé », il m'a semblé tout à fait indispensable d'envisager des nouvelles actions visant à unifier les efforts de la communauté scientifique qui souhaite s'engager dans ce champ de recherche. Je voudrais souligner deux aspects de ce travail de valorisation : un premier aspect concernant les activités liées aux publications et un deuxième visant des actions spécifiquement pédagogiques.

a) Création d'un contexte favorable pour les publications sur mathématique/musique

Afin d'augmenter le caractère institutionnel des activités « mathémusicales », j'ai participé au projet de création de la première revue à comité de lecture sur mathématique/musique. Cette étape, indispensable à la constitution d'une véritable communauté de chercheurs travaillant sur ce nouveau domaine, a été discutée à plusieurs reprises à l'occasion des deux dernières rencontres de l'*American Mathematical Society* (Phoenix, Arizona 7-10 janvier 2004 et Evanston, Illinois, 23-24 octobre 2004) auxquelles j'ai eu l'occasion de participer. L'intérêt croissant pour ce champ de recherche de la part de l'AMS, qui depuis 2003 organise des séances spéciales sur les « Méthodes Mathématiques en Analyse Musicale », a donné un élan majeur au projet de création de la revue. Un comité éditorial a été constitué réunissant les plus grands spécialistes du domaine mathématique/musique (y compris des personnalités qui soutiennent ce projet à titre honorifique, tels Pierre Boulez en France et Milton Babbitt aux Etats-Unis). Le premier numéro du *Journal of Mathematics and Music* (édité par Taylor & Francis) a été présenté officiellement lors du premier Colloque International *Mathematics and Computation in Music* (Berlin, 18-20 mai, 2007). A cette occasion nous avons posé les bases pour la création d'une institution savante, la *Society of Mathematics and Computation in Music*. Voir :
http://www.informaworld.com/smpp/title~content=t741809807~db=all

Une action similaire a été menée pour encourager la publication d'ouvrages sur « Mathématique/Musique » et, plus en général, sur le rapports entre la recherche musicale et l'activité scientifique. Grâce à une proposition de Jean-Michel Bardez (Président de la SFAM, Société Française d'Analyse Musicale), j'ai participé à la conception d'une nouvelle collection d'ouvrages intitulée « Musique/Sciences » Cette collection, co-dirigée par Jean-Michel Bardez et moi-même, a été crée en coédition avec l'Ircam et les éditions Delatour France et bénéficie du soutien de la SFAM et du CNRS (UMR 9912). Elle a un caractère pluridisciplinaire et propose des ouvrages aussi bien en français, en anglais qu'en édition bilingue. La liste des ouvrages déjà parus comprend 7 titres, dont deux ouvrages actuellement sous presse :

Gérard Assayag, François Nicolas, Guerino Mazzola (dir), *Penser la musique avec les mathématiques ?* (2006).
Compte rendu du séminaireMathématiques, musique et philosophie (Ircam, 2000/2001) et, au-delà de ces journées de travail collectif, des échanges entre les participants. Interrogations, mises au point, critiques, gloses s'y entrechoquent : qu'est-ce qu'un sujet musical ? Quelle est la relation entre calcul et écriture ? Y a-t-il une dimension logique du temps musical ? Peut-on raisonner par l'absurde en musique ? Peut-on composer avec des objets mathématiques trouvés ? Mathématique et musique sont-elles des espaces de pensées radicalement hétérogènes, ou bien une circulation directe, par la formalisation de la pensée musicale, est-elle possible ?

André Riotte & Marcel Mesnage, *Formalismes et modèles musicaux* (en 2 vol.). Avec préface d'Alain Poirier (2006).
Cet ouvrage dans lequel se trouvent rassemblés trente-cinq ans de publications retrace la démarche du compositeur et ingénieur André Riotte à la recherche de fondements raisonnés de l'écriture musicale. Il évoque aussi le chemin parcouru depuis la fin des années 1980 en compagnie de Marcel Mesnage, informaticien et mélomane devenu musicologue. Reflets de l'attirance de la musique contemporaine pour les idées scientifiques, ces textes montrent les étapes au cours desquelles les auteurs ont élaboré leur méthode de reconstruction des partitions musicales au moyen de modèles formels.

Carlos Agon, Gérard Assayag et Jean Bresson (eds), *The OM Composer's Book*, vol. 1. Avec préface de Miller Puckette (2006).
The OM Composer's book regroupe des textes de M. Amoric, M. Battier, G. Bloch, K. Haddad, J. C. Hernàndez, J.-L. Hervé, J. Kretz, S. Lemouton, F.Lévy, P. Livorsi, M. Malt, P. Nauert, K. Nez, G. Nouno, H. Parra, L. A. Pena, Ö. Sandred, K. Sprotte, E. Thomazi-Freitas et F. Voisin. Ils décrivent l'utilisation des outils informatiques dans l'environnement de composition OpenMusic àtravers la présentation d'œuvres musicales. Ce livre constitue une source de documentation et de réflexion sur la pratique de la composition assistée par ordinateur dans la modélisation et la création musicale.

Franck Jedrzejewski, *Mathematical Theory of Music* (2006).
Cet ouvrage offre une description unifiée d'outils mathématiques pour la théorie et l'analyse musicales. Après un compte rendu de quelques aspects théoriques bien connus en musicologie systématique (modèles harmoniques, approche de Helmoltz, théorie de Costère, modes de Messiaen à transpositions limitées,Set Theory d'Allen Forte et théorie transformationnelle de David Lewin), l'auteur propose une généralisation de la théorie néo-riemannienne et une méthode originale pour classer les séries dodécaphoniques (y compris les séries tous-intervalles) basée sur la théorie mathématique des nœuds et des tresses. L'ouvrage contient également une description détaillée de plusieurs tempéraments musicaux à l'aide de la théoriedes fractions continues et de la distance harmonique, ainsi qu'une présentation du modèle des canons rythmiques mosaïques dans ses relations avec la théorie des groupes et la topologie.

Guerino Mazzola (en collaboration avec Yun-Kang Ahn), *La vérité du beau dans la musique. Quatre leçons à l'École normale supérieure.* Avec préface d'Yves André (2007).
Ce livre présente la théorie mathématique de la musique ayant fait l'objet d'un cours à l'École Normale Supérieure au printemps 2005. Destiné en premier lieu aux musicologues et aux musiciens, l'ouvrage expose quatre thèmes centraux, à savoir la composition vue dans la perspective de l'analyse créative de Pierre Boulez ; le contrepoint fuxien modélisé selon les principes du dévissage de l'identité issu des théories d'Alexandre Grothendieck ; l'interprétation conçue comme déformation paramétrique induite par les opérateurs interprétatifs selon Theodor W. Adorno et finalement la gestuelle en musique. Ce dernier thème crée le lien de la réflexion avec l'action musicale proprement dite suivant les idées de Gilles Châtelet.
L'objectif principal de l'œuvre est de montrer que la méthode mathématique peut créer une compréhension approfondie de ce phénomène mystérieux qu'est la musique tout en gardant en ligne de mire la mise en relief de l'interaction musique-mathématique au sein du domaine de la musicologie. Ce choix est d'autant plus important que la puissance de la pensée mathématique peut permettre d'envisager sous un angle nouveau certains phénomènes fondamentaux de la musique.

Deux ouvrages, dont j'ai personnellement coordonné l'édition, sont actuellement sous presse :

Moreno Andreatta, Jean-Michel Bardez, John Rahn (dir.), *Autour de la* Set Theory. *Rencontre musicologique franco-américaine*, Ircam 15-16 octobre 2003.
Moreno Andreatta, Jean-Michel Bardez, John Rahn (eds), *Around Set Theory. A French/American Musicological Meeting,* Ircam 15-16 october 2007.

b) Nouvelles actions pédagogiques pour renforcer l'axe mathématique/musique

Parallèlement à l'organisation des cinquièmes et sixièmes saisons du Séminaire *MaMuX* (Mathématique/Musique et relations avec d'autres disciplines) de l'Ircam, j'ai également participé à la mise en place en 2004 d'un nouveau Séminaire « Musique et Mathématique » à l'ENS, dont je partage la direction avec François Nicolas (compositeur) et Charles Alunni (philosophe et Directeur du Laboratoire Disciplinaire « Pensé des Sciences »). Récemment nous avons mis en place une nouvelle école de mathématiques pour musiciens et d'autres non-mathématiciens. Cette école est organisée sous l'égide du Séminaire MaMuX et MaMuPhi. Je vais décrire brièvement ces trois initiatives.

Séminaire MaMuX

Depuis 2001 je coordonne le Séminaire MaMuX (Mathématique/Musique et relations avec d'autres disciplines) de l'IRCAM (co-organisé avec Carlos Agon). Le Séminaire de travail MaMuX, cherche à développer une hypothèse de pertinence, à la fois musicale et mathématique, du rapport mathématiques/musique à travers une exploration des liens qui se créent avec d'autres disciplines dont la philosophie, l'épistémologie, la linguistique, l'informatique et les sciences cognitives.

Les différentes séances qui ont eu lieu depuis 2001 peuvent être regroupées selon ces thèmes :
- Formalisation et représentation des structures musicales ;
- La Set Theory et la théorie transformationnelle ;
- Méthodes mathématiques dans l'analyse musicale ;
- Mosaïques et pavages dans la musique ;
- Informatique musicale, logique et calculabilité ;
- Sciences cognitives et théories de la perception ;
- Philosophie et sémiotique des mathématiques et de la musique.

Comme je l'ai montré dans mon rapport de recherche (*Cf supra*), ces axes thématiques autour desquels on a décidé d'orienter notre séminaire ont également été des catalyseurs importants dans ma propre activité de recherche (en particulier, l'axe de recherche sur la *Set Theory* et la théorie transformationnelle et les mosaïques et pavages dans la musique). Le Séminaire *MaMuX* s'appuie maintenant sur une collaboration permanente avec des mathématiciens, notamment Guerino Mazzola (Université de Minnesota), Franck Jedrzejewski (CEA, Saclay), Thomas Noll (ESMuC, Barcellona) et Emmanuel Amiot.

Un bilan détaillé des six premières séances du séminaire (années 2001-2007) incluant la liste complète des participants,est disponible à l'adresse :
http://recherche.ircam.fr/equipes/repmus/mamux/BilanSemMaMuX2001-2007.pdf

Séminaire MaMuPhi

Depuis 2004, et parallèlement au Séminaire MaMuX, je codirige avec François Nicolas et Charles Alunni le Séminaire « Musique et Mathématique ». Trois sujets ont été abordés jusqu'au présent dans le séminaire :

- Les mathématiciens et la musique (2004-2005) ;
- Questions de logique (2005-2006) ;
- Intellectualité mathématique et musicale (2006-2007).

Les enregistrements de la plus grande partie des séances, ainsi que la liste complète des intervenants, sont disponibles à l'adresse : http://www.entretemps.asso.fr/maths/.
J'ai participé à ce séminaire avec plusieurs interventions consacrées aux ramifications philosophiques des modèles algébriques appliqués à la musique. Un numéro spécial de la *Revue de Synthèse* (sous la direction de François Nicolas, Charles Alunni et moi-même) est actuellement en préparation.

Ecole mathématique pour musiciens et d'autres non-mathématiciens

Récemment, j'ai participé, toujours avec François Nicolas et Charles Alunni, à la mise en place d'une nouvelle école qui s'inscrit formellement dans le Séminaire MaMuX mais qui est organisée en partenariat avec le Séminaire MaMuPhi. Le principe en est tout à fait singulier car il s'agit de rendre compréhensible un concept central de la mathématique la plus contemporaine à des non-spécialistes, en tentant de les mener au cœur de la pensée mathématique la plus active, et sans économiser ni la spécificité de l'écriture mathématique. L'école est animée par Yves André (Cnrs/Ens) qui a assuré trois séances en 2006, consacrées respectivement :

- Aux algèbres d'opérateurs (9 décembre 2006) ;
- Aux topos de Grothendieck (24 mars 2007) ;
- A la théorie de l'ambiguïté d'Evariste Galois (12 mai 2007).

Les enregistrements des séances de l'école sont disponibles sur le site de la diffusion des savoirs de l'ENS tandis que les transcriptions sont disponibles sur les pages web des Séminaires MaMuPhi et MaMuX.

[décembre 2007]